



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – PIBIC

CARACTERIZAÇÃO DO FRUTO DO MANDACARU PARA FINS COMESTÍVEIS

Perfil do escurecimento enzimático do fruto do mandacaru

Área do conhecimento: Ciências Agrárias

Subárea do conhecimento: Ciência de Alimentos

Especialidade do conhecimento: Química, bioquímica, físico-química e controle de
qualidade de alimentos

Relatório Final

Período da bolsa: de agosto de 2018 a julho de 2019

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica PIBIC/CNPq

Orientadora: Jane de Jesus da Silveira Moreira

Autor: Jenisson Linike Costa Gonçalves

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Geral.....	6
2.2 Específicos.....	6
3. METODOLOGIA	6
3.1 Caracterização físico-química.....	7
3.1.1 Sólidos Solúveis.....	7
3.1.2 Atividade de água.....	7
3.1.3 pH.....	7
3.1.4 Acidez.....	7
3.1.4.1 Titulação por volumetria com indicador.....	7
3.1.4.2 Titulação por volumetria potenciométrica.....	8
3.2 Caracterização Física.....	8
3.2.1 Dimensões.....	8
3.2.2 Ratio.....	8
3.2.3 Cor.....	8
3.3 Caracterização Bioquímica.....	8
3.3.1 Catalase.....	8
3.3.2 Polifenoloxidase.....	9
3.3.3 Peroxidase.....	9
3.4 Análise Estatística.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4.1 Caracterização física e físico-química.....	10
4.2 Caracterização bioquímica.....	12
5. CONCLUSÕES.....	19
6. PERSPECTIVAS	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
8. OUTRAS ATIVIDADES.....	24

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem a terceira maior concentração do mundo de gêneros e espécies pertencentes à família das cactaceae. A maior diversidade dessas plantas, aproximadamente 24 gêneros e 88 espécies, encontra-se na caatinga, vegetação característica do nordeste brasileiro, com destaque para os gêneros *Cereus*, *Opuntia* e *Pilosocereus* (REGO, 2009; SALES et al., 2014).

O mandacaru (*Cereus jamacaru* DC) é uma das espécies com maior relevância econômica, medicinal e ambiental. Ela é usada em épocas de estiagem como alternativa à alimentação animal junto com a grama nativa (LUCENA et al, 2013; SILVA; ALVES, 2009). Apesar de o cacto ser utilizado na medicina tradicional para o tratamento de doenças, o conhecimento da população brasileira e dos pesquisadores sobre as potencialidades do mesmo ainda é restrito, o que sugere a necessidade de estudos fitoquímicos e farmacológicos (ALBUQUERQUE et al., 2007; MEDEIROS et al., 2014).

As cactáceas estão adaptadas às condições de xerofitismo e caracterizam a paisagem de regiões de seca intensa (ROCHA, AGRA, 2002; SILVA, ALVES, 2009; ZARA et al., 2012). O fruto do mandacaru é uma baga de formato oval que apresenta aproximadamente 10-13 cm diâmetro longitudinal e 5-9 cm de diâmetro transversal. São atraentes em sabor e tem coloração rosa à vermelha quando madura, casca grossa e polpa branca com sementes pretas bem pequenas, variando de 1,5 a 2,5 mm, como pode ser observado na figura 1 (ALMEIDA et al., 2011).

Figura 1. Fruto do mandacaru vista interna.



Fonte: Autor

A polpa solta facilmente da casca depois que a fruta é cortada (figura 2), tem aroma e sabor delicados e peculiares, com textura semelhante a kiwi. É uma fruta exótica e diferentemente do cacto, não é explorado comercialmente, apesar de ser encontrado em grande quantidade de fevereiro a setembro. O consumo preferencial é da fruta fresca, enquanto o aproveitamento é feito na forma de doces e geleias pela população. Por ser perecível e ter uma vida útil bastante curta, faz-se necessário à busca de alternativas de processamento para minimização de desperdícios e geração de renda para população local (TORRES et al., 2009; SILVA, ALVES, 2009; MOREIRA et al., 2018). Estudos indicam o seu grande potencial de exploração em processos industriais, biotecnológicos, como também o potencial para produção de bebidas fermentadas (ALMEIDA et al., 2009).

Figura 2. Polpa do fruto do mandacaru.



Fonte: Autor

Um dos grandes desafios para o processamento de frutas é a expressiva susceptibilidade ao escurecimento enzimático. As enzimas são substâncias biocatalisadoras essenciais para o metabolismo dos vegetais, as quais continuam ativas pós-colheita. Mais de 50% das perdas em vegetais se deve ao resultado do escurecimento enzimático, ocorrendo, principalmente após danos físicos causados durante os processos como colheita, transporte, manuseio, processamento e armazenamento, permitindo o contato entre a enzima e os substratos fenólicos que podem resultar em alterações de cor, sabor, textura e valor nutricional (MAYER, 2006; JIANG et al., 2016).

O escurecimento enzimático que ocorre em frutas e vegetais é iniciado pela oxidação enzimática de compostos fenólicos, causada especialmente pelas polifenoloxidasas (PPO), enzimas que catalisam a oxidação de compostos fenólicos a quinonas e produzem uma série de pigmentos marrons. Esse fenômeno é um grande problema para alguns setores da indústria de alimentos, uma vez que influencia a qualidade e a aparência dos produtos, reduzindo o interesse de compra do consumidor, o que resulta em um impacto econômico significativo para os agricultores e agroindústria em geral. Devido a grandes perdas, a inibição da PPO em produtos alimentícios tem sido intensamente investigada visando desenvolver modos de efetivar a inativação destas (JIANG et al., 2016).

As enzimas dependem de diversos fatores para atingir uma boa atividade, como pH, força iônica, concentração da enzima no alimento, presença de compostos interferentes, temperatura, entre outros. A PPO atua em uma ampla faixa de temperaturas, que vai de 15 e 60 °C e pH em um intervalo entre 3,5 a 9 (NAVARRO et al., 2014).

Outro grupo de enzimas envolvidas por reações de escurecimento são as peroxidases (POD). Elas catalisam a oxidação de compostos fenólicos na presença de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), gerando radicais livres e conduzindo à degradação da cor nos alimentos (BARBERAN; ESPIN, 2001). Os efeitos da ação das POD são difíceis de serem identificados devido à semelhança com os produtos da reação de enzimas como a PPO (KOBBLITZ, 2013).

As plantas contêm uma baixa quantidade de H_2O_2 , o que em princípio limitaria a atividade enzimática. Porém, durante a ação das PPOs ocorre a geração de H_2O_2 como produto, o que pode desencadear em atividade da POD. Embora o principal agente de escurecimento enzimático em frutas e legumes sejam as PPOs, isso indica que exista um provável efeito sinérgico entre essas enzimas (BARBERAN; ESPIN, 2001).

A ação de escurecimento da POD pode ser neutralizada por um agente supressor de H_2O_2 . Um desses agentes é a enzima catalase (CAT), oxirredutase encontrada na maioria dos seres vivos. Sua ação envolve a quebra de H_2O_2 , frequentemente produzido como subproduto da respiração aeróbica. Assim, ela age como um antioxidante protegendo a célula do estresse oxidativo e provavelmente retarda o escurecimento causado pela POD (KOBBLITZ, 2013).

Apesar disso, observa-se uma escassez de estudos científicos sobre o fruto do mandacaru, sobretudo de ensaios enzimáticos relacionados ao seu escurecimento, fator limitante para a valorização da cadeia produtiva desse fruto e possível comercialização como fruta exótica, assim como já acontece com o fruto da cactácea pitaya (*Hylocereus undatus*).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterizar o fruto do mandacaru em relação às suas propriedades físico-químicas, físicas e bioquímicas, determinando a melhor condição de conservação pós-colheita do fruto, vislumbrando o potencial de comercialização do mesmo dentre as frutas exóticas.

2.2 Específicos

- Caracterização físico-química do fruto do mandacaru através das determinações de atividade de água, pH, sólidos solúveis e acidez titulável;
- Caracterização física do fruto em relação às dimensões, grau de maturação (SS/AT, *ratio*) e cor;
- Determinação da atividade enzimática de polifenoxidase, peroxidase e catalase na polpa e casca do fruto do mandacaru, em diferentes condições de conservação;
- Determinar a melhor condição de conservação do fruto do mandacaru.

3. METODOLOGIA

Os frutos do mandacaru foram adquiridos na zona rural da cidade de Aquidabã-SE (10°16'18.0"S e 37°02'39.5"W), cadastrados no SisGen - Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado, encaminhados ao Laboratório de Química e Bioquímica de Alimentos no Departamento de Tecnologia de Alimentos, onde foram higienizados, despulpados e armazenados para realização das análises físico-químicas e bioquímicas. Para as análises bioquímicas, o fruto foi armazenado em quatro condições: íntegro *in natura* em temperatura ambiente (controle), íntegro refrigerado a 10 °C, polpa e casca congeladas a -18 °C, polpa e casca liofilizados.

As amostras refrigeradas foram armazenadas cinco dias antes das análises e as amostras congeladas e liofilizadas por aproximadamente dois meses.

3.1 Caracterização físico-química

As amostras de polpa e casca do fruto do mandacaru foram analisadas em triplicata conforme as técnicas descritas em INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

3.1.1 Sólidos solúveis

A determinação de sólidos solúveis (°Brix) das amostras de polpa e casca do fruto foi realizada com refratômetro digital HI 96801 (*Hanna Instruments*). As amostras de casca foram maceradas em almofariz com o auxílio de água destilada e o valor da diluição descontado no cálculo final.

3.1.2 Atividade de água

A atividade de água (a_w) da polpa e casca do fruto do mandacaru foi determinada com o emprego de determinador de atividade de água Aqualab Pre (*Water Activity Meter*).

3.1.3 pH

Para determinação do pH de polpa e casca do fruto do mandacaru, foram pesadas 5 gramas de cada amostra, que foram maceradas com almofariz com 50 mL de água destilada. As leituras foram realizadas em potenciômetro digital DLA-PH (*Del Lab*).

3.1.4 Acidez

3.1.4.1 Titulação por volumetria com indicador

Foram pesados 5 g de cada amostra de polpa do fruto, maceradas com 100 mL de água destilada. O conteúdo foi transferido para erlenmeyer e foram adicionadas 3 gotas de solução de fenolftaleína 1%. A amostra foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,01M até coloração rósea persistente por 30 segundos. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico.

3.1.4.2 Titulação por volumetria potenciométrica

A determinação de acidez da casca do fruto do mandacaru foi realizada por técnica potenciométrica devido à coloração semelhante da amostra com o indicador fenolftaleína. O potenciômetro foi calibrado com as soluções-tampão de pH 7 e pH 4. Foram pesadas 5 g de casca do fruto, maceradas com 100 mL de água destilada. O conteúdo foi transferido para um béquer de 300 mL e o eletrodo foi mergulhado na solução. A amostra foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,01 M até uma faixa de pH 8,2-8,4. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico.

3.2 Caracterização física

3.2.1 Dimensões

As dimensões dos frutos foram determinadas com auxílio de paquímetro digital 150mm/6"(Insize). Foram realizadas as medições dos diâmetros longitudinal e transversal em dois lados distintos do fruto.

3.2.2 Ratio (SS/AT)

Método baseado nas técnicas descritas em INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). Consiste no cálculo da relação °Brix por acidez expressa em ácido orgânico. Esta relação é utilizada como uma indicação do grau de maturação da matéria prima.

3.2.3 Cor

A análise colorimétrica da casca do fruto do mandacaru foi realizada em quatro pontos distintos dos frutos. A leitura dos parâmetros CIELAB L*a*b* foi realizada com colorímetro CR – 10 (Konica Minolta).

3.3 Caracterização bioquímica

3.3.1 Catalase

A determinação qualitativa de CAT (E.C. 1.11.1.6) seguiu a metodologia descrita por Macedo et al. (2005). Um cubo de 1 cm de aresta de casca e polpa foi colocada em tudo de ensaio contendo 5 mL de H₂O₂ 0,1 M. O resultado é positivo caso haja desprendimento de oxigênio e negativo caso contrário. As determinações quantitativas de CAT, por

titulometria (SINHA, 1972) e por espectrofotometria (WANG et al.,2015), para casca e polpa do fruto do mandacaru necessitam de ajustes devido a inconsistências nos resultados.

3.3.2 Polifenoloxidase

O ensaio de PPO (E.C. 1.10.3.1) seguiu a metodologia descrita por Coelho (2001) e Simões (2004) com modificações. Foi pesado um grama de polpa do fruto e da casca, as amostras foram maceradas em almofariz com 6 mL de tampão fosfato 0,2 M (pH 6,0) gelado e centrifugadas a 10.000 rpm por 21 min a 4°C. O sobrenadante foi colocado em tudo em banho de gelo. Em outro tubo de ensaio, foram adicionados 1,3 mL de tampão fosfato 0,2 M pH 6,0 e 1,5 mL de catecol 0,2 M. O tubo de ensaio com tampão e catecol foi colocado em banho termostático a 30 °C até a estabilização da temperatura. Ao tubo foi adicionado 0,3 mL do sobrenadante, homogeneizados e após sete minutos de reação, foram executadas sete leituras de absorbância a 425 nm em espectrofotômetro UV – 2601 UV/VIS (Rayleigh), com intervalo de 30 segundos entre as leituras. Uma unidade de enzima (UE) foi definida como a quantidade de PPO presente no extrato capaz de aumentar a absorbância em 0,001 unidades por minuto.

3.3.3 Peroxidase

O ensaio de POD (E.C. 1.11.1.7) seguiu a metodologia descrita por Silva (1981) e Simões (2004) com modificações. Foi pesado um grama de polpa do fruto e da casca, as amostras foram maceradas em almofariz com 6 mL de tampão fosfato 0,2 M (pH 6,0) gelado e centrifugadas a 10.000 rpm por 21 min a 4°C. O sobrenadante foi colocado em tudo em banho de gelo. Em outro tubo de ensaio, foram adicionados 1 mL de tampão fosfato 0,2 M pH 6,0 e 0,3 mL do extrato. O tubo permaneceu em banho termostático a 25°C até a estabilização da temperatura. Ao tudo foram adicionados 0,1 mL de guaiacol 0,5% e 0,1 mL de peróxido de hidrogênio 0,08%, homogeneizados e após sete minutos de reação, efetuou-se sete determinações de absorbância a 470 nm em espectrofotômetro UV – 2601 UV/VIS (Rayleigh), com intervalo de 30s entre as leituras. Uma unidade de enzima (UE) foi definida como a quantidade de POD presente no extrato capaz de aumentar a absorbância em 0,001 unidades por minuto.

3.4 Análise Estatística

Os resultados das determinações de atividade enzimática para PPO e POD foram submetidos à análise de variância (ANOVA) - fator único (forma de armazenamento), e teste de Tukey ($p < 0,05$) com o auxílio do software estatístico gratuito PaSt - *Palaeontological Statistics* (HAMMER et al., 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física e físico-química

Os diâmetros longitudinais e transversais dos frutos observados na Figura 3 variaram respectivamente de 67,0 a 105,6 mm e 46,7 a 78,7 mm.

O resultado da análise colorimétrica foi de $24,0 \pm 0,9$; $+24,5 \pm 2,4$ e $+18,0 \pm 1,3$ para as coordenadas L^* , a^* e b^* respectivamente. A coordenada cromática L^* corresponde à claridade/luminosidade e varia do preto (0) ao branco (100); a^* representa a transição da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$) e b^* define a transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$). Ambas as coordenadas a^* e b^* variam de -60 a +60, onde quanto mais distante do centro ($=0$), mais saturada a cor (KONICA MINOLTA, 1998). Os frutos do mandacaru variam em tamanhos, mas são similares na cor, com predominância do vermelho (a^*) sobre o amarelo (b^*) e luminosidade leve.

Figura 3. Variação das dimensões físicas do mandacaru.



Fonte: Autor

As tabelas 1 e 2 trazem os resultados das determinações de pH, atividade de água (a_w), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS) e ratio (SS/AT), para o presente estudo e demais pesquisas encontradas na literatura, respectivamente.

Tabela 1. Características físico-químicas da polpa e casca do fruto do mandacaru.

	pH	a_w	AT (% ácido cítrico)	SS (°Brix)	Ratio (SS/AT)
Polpa	5,313±0,484	0,996±0,002	0,168±0,050	8,433±0,153	53,655
Casca	4,837±0,205	0,982±0,002	0,282±0,042	2,333±0,577	8,502

Tabela 2. Dados de características físico-químicas do fruto segundo à literatura.

Amostra (estudo)	Ph	a_w	AT (% ácido cítrico)	SS (°Brix)	Ratio (SS/AT)
Polpa (1)	4,40	-	-	11,50	-
Polpa (2)	4,38	-	0,26	10,50	40,38
Polpa (2)	4,50	-	0,22	11,50	52,27
Polpa (3)	4,19	-	0,12	10,00	83,33
Polpa (4)	4,40	-	0,32	10,30	32,65
Polpa (4)	4,93	-	0,26	12,03	47,32
Polpa (5)	4,09	-	0,05	10,13	202,6
Polpa (6)	4,26	-	0,28	11,67	41,97
Polpa (6)	5,06	-	0,28	15,80	56,77
Polpa (7)	4,35	0,986	0,18	-	-
Polpa (8)	3,50	-	-	9,50	-
Polpa (8)	3,75	-	-	10,00	-
Polpa (9)	4,57	-	0,37	9,77	26,33
Casca (1)	4,42	-	-	5,00	-
Casca (5)	4,54	-	0,33	1,96	5,94
Casca (9)	4,44	-	0,46	7,49	16,28

Estudos: (1) SILVA e ALVES (2009), (2) ALMEIDA et al. (2009), (3) TORRES et al. (2009), (4) NASCIMENTO et al (2011), (5) SILVA et al. (2012), (6) MELO et al. (2017), (7) MOREIRA et al. (2018), (8) SITRIT et al. (2012), (9) LIMA (2016).

O *ratio* é um índice empregado para determinar o estágio de maturação da fruta, muito empregado na citricultura. Ele determina o balanço do sabor doce: ácido. Se empregarmos a laranja como comparativo, estas são processadas, no Brasil quando o *ratio*

está entre 12 e 13, embora a preferência do público seja um *ratio* 14 para suco. Sendo assim, verifica-se que o sabor doce do fruto mandacaru, único, se distancia muito da criticidade da laranja, sobressaindo-se o sabor suave e doce.

É uma característica dos frutos de cactáceas o *ratio* elevado. O fruto de Cactus-Pear, por exemplo, apresenta *ratio* médio de 69 para polpa verde, chegando a 350 para polpa madura (SÁENZ e SEPÚLVEDA, 2001).

A casca dos frutos do mandacaru, assim como de outras cactáceas, tendem a ser mais ácidas que suas polpas e apresentar conteúdo de sólidos solúveis menor, logo a relação SS/AT tem bastante disparidade com os valores da polpa (LIMA, 2016). Nascimento et al. (2011), Melo et al. (2017) e Almeida et al. (2009) quantificaram valores bastante próximos de *ratio* para polpa do fruto.

O valor de pH é uma das características mais importantes de um fruto destinado ao processamento, pois além de definir os tipos de microrganismos aptos à multiplicação, influenciará na escolha do equipamento a ser trabalhado na indústria, seu material de limpeza e desinfecção, além da escolha da embalagem e aditivos utilizados no produto (RODRIGUES, 2016).

Os valores de pH para polpa e casca do fruto encontrados na literatura estão abaixo do quantificado no presente estudo. Lima (2016) também quantificou pH menor para casca do fruto e AT maior em comparação com os valores da polpa. Moreira et. al. (2018) quantificou 0,18% de ácido cítrico na polpa fresca do fruto do mandacaru. A acidez dos frutos diminui proporcionalmente com o estágio de maturação, devido à utilização de ácidos orgânicos no processo respiratório ou na conversão de açúcares (LIMA, 2016).

4.2 Caracterização Bioquímica

Devido às características físicas das cactáceas e da utilização dos frutos por aves na alimentação, eles podem sofrer danos em sua estrutura que provocam a ruptura celular, permitindo a ação de escurecimento enzimático antes mesmo de serem colhidos, como podemos observar na Figura 4.

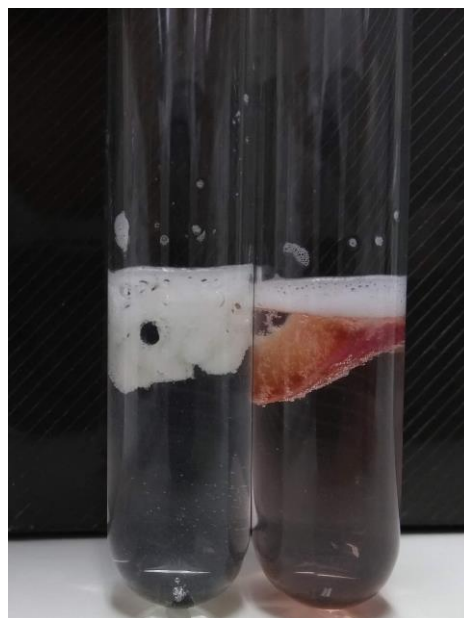
Figura 4. Frutos do mandacaru com danos mecânicos na casca



Fonte: Autor

A Figura 5 apresenta o resultado positivo do teste qualitativo para verificação da presença de atividade da enzima catalase (CAT), para polpa e casca do fruto do mandacaru. Verifica-se que a catalase está presente tanto na polpa quanto na casca, mas em maior extensão na polpa, visto o maior volume de bolhas desprendidas durante o teste.

Figura 5. Atividade enzimática da CAT



Fonte: Autor

Os estudos sobre o fruto do mandacaru não abordam aspectos bioquímicos, por isso os resultados são discutidos usando como modelo a pitaya (*Acanthocereus pitajaya*). Baquero et al. (2005) ao estudar maturação e senescência de pitayas amarelas (*Acanthocereus pitajaya*), observou que durante o amadurecimento há uma alta atividade de CAT, seguido de um decréscimo após a maturidade sensorial. Com o metabolismo oxidativo que ocorre entre maturidade fisiológica e sensorial, a enzima superóxido dismutase (SOD) catalisa uma alta formação de H_2O_2 , controlado pela atividade da CAT, alta no pico do climatério, o que garante um equilíbrio adequado entre oxidantes e antioxidantes. Porém a atividade da catalase tende a cair em tempos mais longos de armazenamento, ao contrário das enzimas PPO e POD.

As figuras 6 e 7 apresentam uma comparação entre os resultados de atividade das enzimas PPO e POD para polpa do fruto do mandacaru conservada nas quatro diferentes condições de armazenamento pré-estabelecidas: ambiente (*in natura*), refrigerada, congelada e liofilizada. Os resultados foram expressos em unidades de enzima (UE) por grama de amostra. As barras de erros nas colunas dos gráficos representam o desvio padrão entre a triplicata das amostras.

Figura 6. Atividade enzimática da PPO para polpa do fruto do mandacaru.

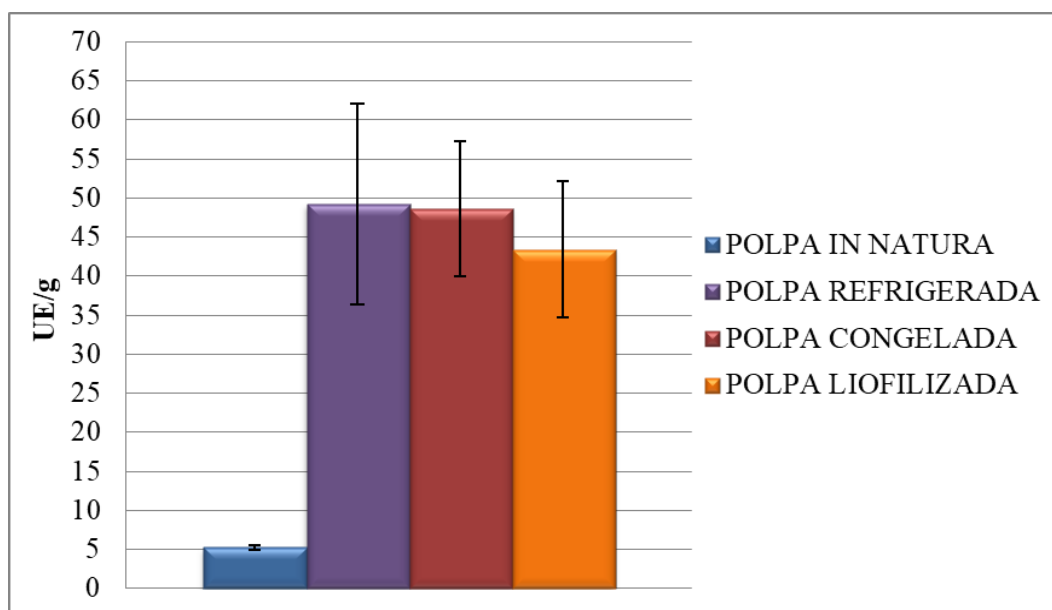
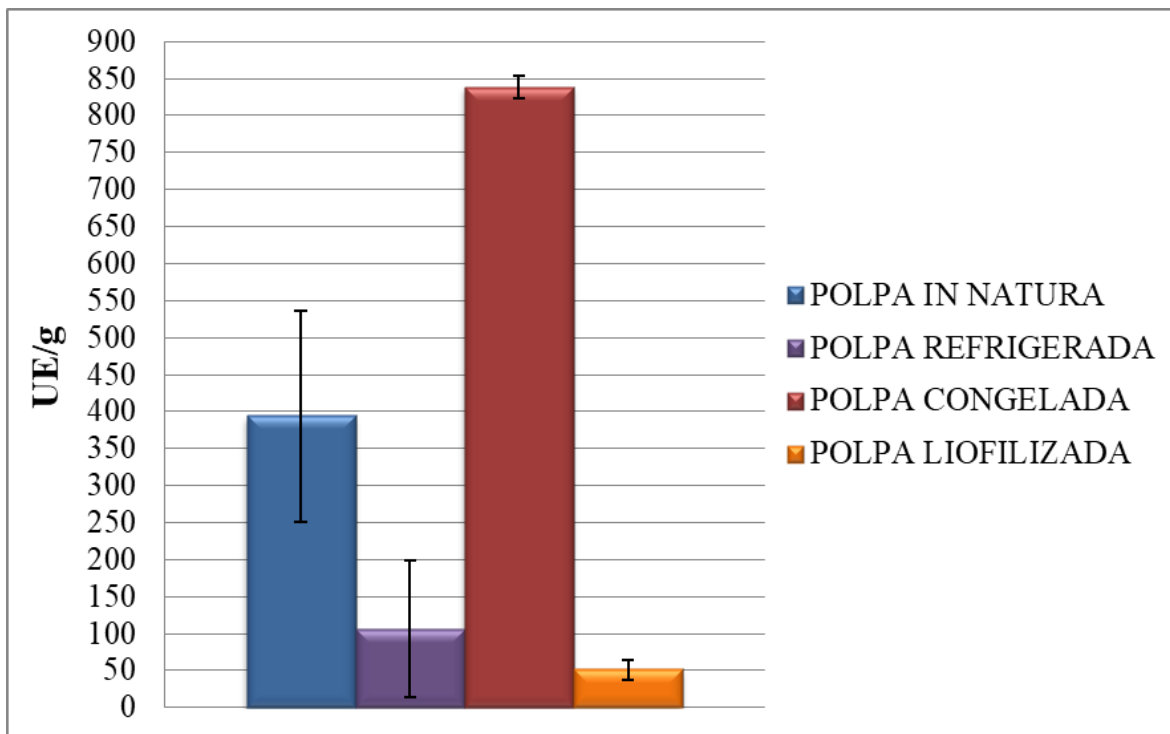


Figura 7. Atividade enzimática da POD para polpa do fruto do mandacaru.



A POD também consome H_2O_2 , porém devido à alta afinidade com o composto, o processo de degradação gera o escurecimento. A CAT tolera altas concentrações de peróxido, exibindo baixa atividade em baixas concentrações de H_2O_2 e alta atividade quando a concentração de seu substrato é alta (SWITALA E LOEWEN, 2002).

O comportamento observado por Baquero et al. (2005) foi semelhante aos encontrados em outros ensaios de armazenamento: CAT em uva caimaron (Pouroma cecropiifolia, NARVÁEZ E RESTREPO, 2003), POD em kiwi (Actinida deliciosa) (FUSTER et al., 1994), manga (Mangifera indica, MARÍN E CANO, 1992) e uva caimaron (NARVÁEZ E RESTREPO, 2002) e PPO em lulo - naranjilla (Solanum quitoense, RUBIO, 1999).

Diante dos resultados encontrados por Baquero et al. (2005), sugeriu-se que a eficácia dos tratamentos pós-colheita aplicados para pitaya amarela fossem focados em estimular a atividade da CAT e inibir a atividade de POD e PPO. Lesões geradas pelo frio estão relacionadas à elevação da atividade de PPO e menor atividade de CAT em relação aos frutos não refrigerados. Já quando estimulada a tolerância ao frio, com tratamentos

térmicos antes da refrigeração, há aumento na atividade de CAT e diminuição em PPO. Entretanto, não foi encontrada uma relação clara entre a atividade de POD e tolerância ao frio.

Dueñas et al. (2007) verificou a inibição de lesões por frio através do choque térmico de pitaya amarela (*Acanthocereus pitajaya*) antes do armazenamento sob refrigeração. O choque térmico provou aumento da atividade de CAT e POD e diminuição em PPO em relação a frutas refrigeradas sem o tratamento. CAT teve relação direta com a vida útil da fruta, enquanto PPO esteve relacionada à sua deterioração. A peroxidase manifestou sua ação antioxidante com a geração do escurecimento em frutos armazenados à temperatura ambiente, mas nos frutos tratados termicamente, sua ação não foi relacionada com o escurecimento.

O ensaio de polifenoloxidase para polpa mostrou resultados semelhantes dos tratamentos refrigerado, congelado e liofilizado frente ao resultado da amostra *in natura*, única a apresentar diferença significativa ($p < 0,05$) em relação as demais. Para a enzima peroxidase, houve uma maior variação entre os resultados. Apenas os tratamentos refrigerado e liofilizado não diferiram estatisticamente entre si, sendo que a polpa liofilizada apresentou o melhor resultado na conservação.

A liofilização é uma técnica de secagem empregada para diminuição da atividade de água e tem como vantagem o retardo de reações químicas e enzimáticas que ocorrem durante o armazenamento de um produto. Por ser realizada através do processo de sublimação do gelo, há um aumento de estabilidade frente a outras técnicas de conservação, prevenindo as reações de escurecimento (MARQUES, 2008).

As plantas e frutas geralmente contêm uma quantidade baixa de H_2O_2 , o que limita a atividade da POD. Porém, quando a enzima PPO age sobre os fenois, tem como resultado a geração de H_2O_2 e conseqüentemente ativa a POD, gerando um efeito sinérgico entre as enzimas (BARBERAN; ESPIN, 2001). Dos Santos et al. (2016), avaliou PPO e POD em pitaya vermelha (*Hylocereus undatus*) após colheita e com 12 dias de armazenamento sob refrigeração, observou aumento de atividade para PPO, porém a ação da POD diminuiu com o período de estocagem, semelhante ao que ocorreu com o fruto do mandacaru.

Outro trabalho com *Hylocereus undatus* avaliou o efeito da radiação ionizante e do tempo de armazenamento na atividade de POD. A atividade da POD diminuiu nos

primeiros dias de armazenamento e aumentou ao longo da vida de prateleira do produto. O tratamento ionizante quando severo causou maior estresse no fruto provocando a formação de radicais livres e aumentando, consequentemente, os níveis de peróxido de hidrogênio e atividade da enzima (FERNANDES, 2011). Comportamento semelhante pode ser observado na polpa do fruto do mandacaru, onde a amostra congelada apresentou um aumento considerável de atividade em relação ao tratamento refrigerado, provavelmente pelo tipo de congelamento empregado no presente estudo, que tende a romper as células.

O congelamento lento leva a formação de cristais de gelo maiores e em menor quantidade do que no congelamento rápido. Esses cristais, formados no espaço intercelular, ocasionam a ruptura das membranas celulares, devido ao aumento da pressão osmótica e desnaturação dos constituintes coloidais da célula (COLLA e HERNÁNDEZ, 2003).

Fernandes (2011) quantificou redução no teor de fenólicos durante o armazenamento da pitaya vermelha, relacionado com o aumento do escurecimento enzimático, mostrando que o efeito do estresse causado pela dose de radiação, desencadeou a oxidação dos fenóis totais, influenciando para o decréscimo deles até o final do tempo de armazenamento.

As figuras 8 e 9 apresentam uma comparação entre os resultados de atividade das enzimas PPO e POD para casca do fruto do mandacaru conservada nas quatro diferentes condições de armazenamento pré-estabelecidas: ambiente (*in natura*), refrigerada, congelada e liofilizada. Os resultados foram expressos em unidades de enzima (UE) por grama de amostra. As barras de erros nas colunas dos gráficos representam o desvio padrão entre a triplicata das amostras.

Figura 8. Atividade enzimática da PPO para casca do fruto do mandacaru.

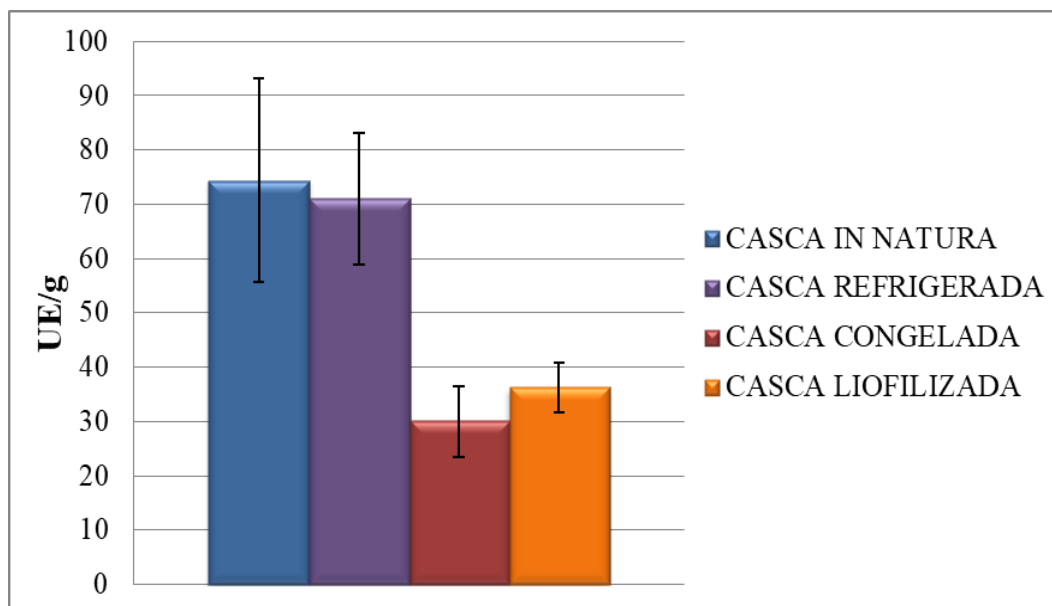
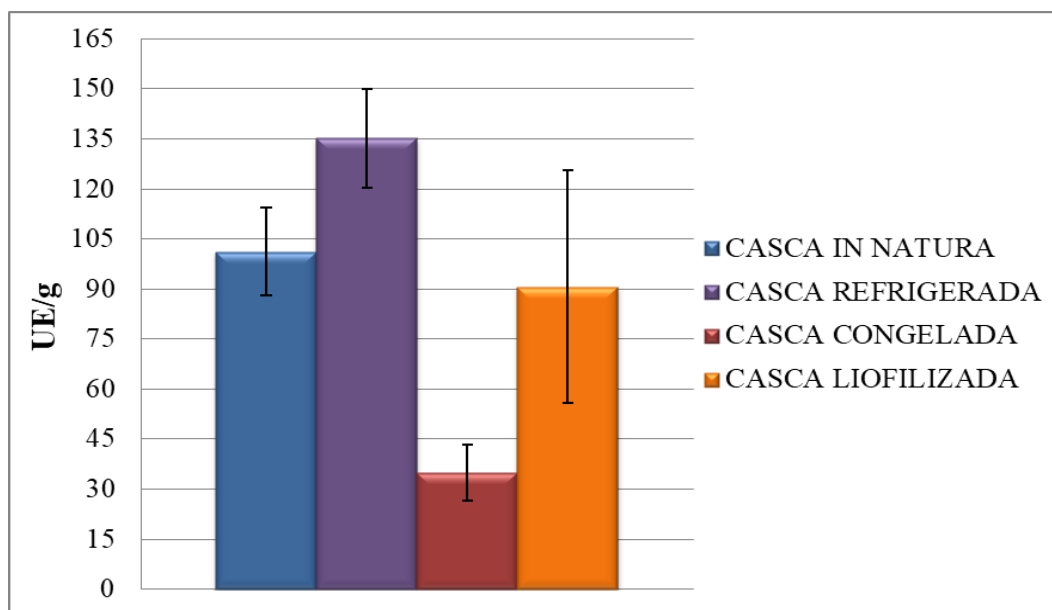


Figura 9. Atividade enzimática da POD para casca do fruto do mandacaru.



Os resultados da casca do fruto do mandacaru para PPO mostraram semelhanças entre os tratamentos *in natura* (controle) e refrigerado, assim como entre os tratamentos congelado e liofilizado. Os dois primeiros tratamentos diferiram estatisticamente em relação aos dois últimos, que apresentaram melhores resultados. Para POD, apenas a

amostra congelada diferiu estatisticamente das demais e foi eficiente em reduzir a atividade enzimática.

Observa-se um comportamento diferente entre a casca do fruto do mandacaru e a polpa do fruto frente ao escurecimento enzimático. Enquanto a liofilização é mais eficiente em reduzir as atividades enzimáticas na polpa, o mesmo não ocorre com a casca do fruto, provavelmente devido ao congelamento prévio feito antes do procedimento de secagem acelerar as reações na casca. O autor constatou em seus experimentos que a casca do fruto mandacaru sofre ação do escurecimento com maior rapidez, sendo o armazenamento feito com o fruto íntegro ou não.

Nunes et al. (2016) sugeriu a necessidade de estudos sobre o escurecimento enzimático em coroa-de-frade (*Melocactus* spp). Outras espécies de cactáceas como o xiquexique (*Pilosocereus gounellei*), o quipá (*Tacinga inamoena*) e o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) também sofrem ação do escurecimento, pois todos esses frutos são ricos em compostos fenólicos (SOUSA, 2017).

5. CONCLUSÕES

A caracterização bioquímica da polpa do fruto do mandacaru através dos ensaios enzimáticos de PPO e POD das amostras *in natura* (controle), refrigerada, congelada e liofilizada, indicou ser a liofilização o tratamento mais adequado para evitar a ação degradativa de compostos fenólicos, resultando em escurecimento do fruto. No entanto, para conservar a fruta sem desidratação, a refrigeração foi o método mais eficiente. Na casca o congelamento se mostrou mais eficiente na redução da POD e da PPO.

6. PERSPECTIVAS

A discussão dos resultados mostra que a enzima catalase é fundamental no controle das reações de escurecimento. Existem outras enzimas vinculadas à ação de espécies reativas de oxigênio, como a superóxido dismutase e ascorbato peroxidase. Sugerem-se estudos mais detalhados sobre como a ação dessas enzimas se correlacionam e atuam no escurecimento enzimático dos frutos em geral, em especial das cactáceas.

Foi observado que há possibilidade do prolongamento da vida de prateleira do fruto do mandacaru para utilização na alimentação humana e em processos industriais. Na

literatura existem diversos trabalhos com diferentes tipos de pitaya, mas os trabalhos com o fruto do mandacaru são escassos. Na área de qualidade pós-colheita, há a possibilidade de estudos com uso de tecnologias alternativas, como uso de atmosfera modificada, utilização de luz ultravioleta, radiação ionizante ou luz pulsada para conservação da qualidade do fruto, além dos revestimentos comestíveis e da possibilidade de processamento mínimo do fruto.

Em Sergipe existem projetos que trabalham com a palma forrageira, como o Projeto Palma Para Sergipe, desde seu plantio, até utilização para produção de sucos, doces e cosméticos, remunerando famílias sertanejas que as tem como fonte de sobrevivência. Outras cactáceas como o mandacaru e seu fruto tem potencial semelhante.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, U. P.; MEDEIROS, P. M.; ALMEIDA, A. L. S.; MONTEIRO, J. M.; LINS-NETO, E. M. F.; MELO, J. G.; SANTOS, J. P. Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: a quantitative approach. **Journal of ethnopharmacology**, v. 114, n. 3, p. 325-354, 2007.

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R. Caracterização física e físico-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.1, p.15-20, 2009.

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; MOTA, J. C.; FREIRE, R. M. M. Estudo cinético e caracterização da bebida fermentada do *Cereus jamacaru* P. DC. **Revista Verde**, v. 6, n. 2, p. 176 – 183, 2011.

BARBERAN, F. A T.; ESPIN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **J. Sci. Food Agric.** v. 81, n. 9, p. 853–876, 2001.

BAQUERO, L. E., RIVERA, J. A. C., CUENCA, C. E. N. Catalase, Peroxidase and Polyphenoloxidase from Pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) Fruits: Ripening and Senescence. **Acta Biológica Colombiana**, Vol. 10 No. 2, 2005.

COELHO, A. F. S. **Qualidade de alface americana (*Lactuca sativa* L.) minimamente processada**. 2001. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2001.

COLLA, L. M.; HERNÁNDEZ, C. P. Congelamento e descongelamento – sua influência sobre os alimentos. **Vetor**, Rio Grande, v.13, p. 53-66, 2003.

DOS SANTOS, M. R. P.; CASTRO, J. C.; MARDIGAN, L.P.; WATANABE, R.; CLEMENTE, E. Caracterização físico-química e enzimática de frutos de pitaia (*Hylocereus undatus*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 1, p. 2081-2095, 2016.

DUEÑAS, Y. M.; CUENCA, C. E. M.; SÁNCHEZ, L. P. R. Inhibición de lesiones por frío de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) a través del choque térmico: catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasa. **Acta biol. Colomb.**, V. 13, N.1, p. 95-106, 2008.

FERNANDES, L. M. S. **Conservação frigorificada de pitaia orgânica irradiada**. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia – Horticultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011.

FÚSTER, C., PRÉSTAMO, G., CANO, M. P. Drip Loss, Peroxidase and Sensory Changes in Kiwi Fruit During Frozen Storage. **J Sci Food Agric**, V. 64: 23-29. 1994.

HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 9p, 2001.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo. Instituto Adolfo Lutz. Versão eletrônica, 1020p. 2008

JIANG, Y.; DUAN, X.; QU, H.; ZHENG, S. Browning: Enzymatic Browning, **Encyclopedia of Food and Health**, p. 508-514, 2016.

KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 242p., 2013.

KONICA MINOLTA. **Comunicação precisa da cor: controle de qualidade da percepção à instrumentação**. Seoul: Konica Minolta, 59 p., 1998.

LIMA, R. K. B. **Caracterização e potencial antioxidante do fruto da palma (*Tacinga inamoena*) e do mandacaru (*Cereus jamacaru*)**. 2016. 62f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró - Rio Grande do Norte, 2016.

LUCENA, C. M.; LUCENA, R. F. P.; COSTA, G. M.; CARVALHO, T. K. N.; COSTA, G. G. S.; ALVES, R. R. N.; PEREIRA, D. D.; RIBEIRO, J. E. S.; ALVES, C. A. B.; QUIRINO, Z. G. M.; NUNE, E. N. Use and knowledge of *Cactaceae* in Northeastern Brazil. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 9, n. 1, p. 62, 2013.

MACEDO, G. A; PASTORE, G M.; SATO, H. H.; PARK, Y. G. K. **Bioquímica experimental de alimentos**. São Paulo: Varela, 1ª Ed., 187 p., 2005.

MARÍN, M. A, CANO, M. P. Patterns of Peroxidase in Ripening Mango (*Mangifera indica*, L.) Fruits. **J Food Sci**; V. 57:690-92. 1992.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2008.

MAYER, A. M. Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. **Phytochemistry**, v. 67, p. 2318-2331, 2006.

MEDEIROS, M. F. T.; ALBUQUERQUE, U. P. Food flora in 17th century northeast region of Brazil in *Historia Naturalis Brasiliae*. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 10, n. 1, p. 50, 2014.

MELO, R. S.; SILVA, S.M.; SOUSA, A. S.B.; LIMA, R. P.; DANTAS, A. L.; DANTAS, R. L.; FIGUEIREDO, V. M. A. Maturação e qualidade de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) de diferentes bioclimas do estado da Paraíba. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 160-168, 2017.

MOREIRA, I. S.; SILVA, L. M. M.; CASTRO, D. S.; LIMA, J. P.; SOUSA, F. C.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, W. O.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S. Fruit of Mandacaru: Kinetics of Drying and Physical-Chemical Characterization. **Journal of Agricultural Science**; v. 10, n. 11, p. 461-470, 2018.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U.P. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2112-2119, 2011.

NARVÁEZ, C. C. E.; RESTREPO, P. Efecto del almacenamiento de uva caimarona (*Pourouma cecropiifolia*) a diferentes temperaturas sobre los sólidos solubles y la actividad de catalasa. **Rev Col Quim**, V. 32, p. 81-92. 2003.

NAVARRO, J. L.; TÁRREGA, A.; SENTANDREU, M. A.; SENTANDREU, E. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from persimmon. **Food Chemistry**. v. 157, p. 283–289, 2014.

NUNES, E. N., LEMOS, D. M.; SILVA, S. F.; ROCHA, A.P. T.; LUCENA, C. M.; MEIADO, M. V.; LUCENA, R. F. P. Cuantificación fisicoquímica en gorro turco [*Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelburg - Cactaceae]. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Campinas, v.18, n.1, p.81-88, 2016.

REGO, M. M. In vitro seed germination of mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.). **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 34-38, 2009.

ROCHA, E. A.; AGRA, M. F. Flora of the Pico do Jabre, Paraíba, Brazil: Cactaceae Juss. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 1, p.15-21, 2002.

RODRIGUES, T. L. **Qualidade, atividade antioxidante e atividade da peroxidase durante a maturação de frutos de facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter).** 52p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

RUBIO, M. E. **Estudio del cambio de actividad de polifenoloxidasa, PFO, durante el proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* L.).** [Tesis de magíster]. Bogotá, Colombia: Química. Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia. 1999.

SALES, M. S. L., MARTINS, L. V., SOUZA, I., DE DEUS, M. S. M., PERON, A. P. *Cereus jamacaru* de candolle (cactaceae), o mandacaru do nordeste brasileiro. **UEPG Ci. Biol. Saúde**, Ponta Grossa, v.20, n.2, p. 135-142, 2014.

SÁENZ, C. AND ELENA SEPÚLVEDA, E. Cactus-Pear Juices. Disponível em: http://jpacd.org/downloads/Vol4/FCE_1.pdf. Acesso em 12/07/2019. As 21:00 h.

SILVA, E. **Estudo da atividade enzimática da polifenoloxidase e da peroxidase em algumas frutas e hortaliças “in natura” e processadas.** 1981. 108f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da, Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 1981.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Avaliação da composição físico-química de frutos de “mandacaru” (*Cereus Jamacaru* P.) **Acta Agronômica**, v. 58, n. 4, p. 245-250, 2009.

SILVA, A. O.; MAIA, A.F.; SILVA, J. A. S.; GORGONIO, B. C. R.; SILVA, S. M. Caracterização físico-química da polpa e casca de frutos do mandacaru (*Cereus jamacaru*). In: **Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB (ENECT)**, Campina Grande, 2012.

SINHA, A. K. Colorimetric assay of catalase. **Annals of Biochemistry**, v. 47, p. 389-395, 1972.

SIMÕES, A do N. **Alterações químicas e atividades de enzimas em folhas de couve inteiras e minimamente processadas.** Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 75 p., 2004.

SITRIT, Y., GOLAN, E., BAR, E., LEWINSOHN, E. Fruit quality evaluation of two new cactus crops for arid zones: *Cereus peruvianus* and *Cereus jamacaru*. **Israel Journal of Plant Sciences**. Vol. 60, p. 335–343, 2012.

SOUSA, A. C. P. **Frutos de cactáceas da caatinga piauiense: potencial bioativo e tecnológico.** 107p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

SWITALA, J., LOEWEN, P. C. Diversity of Properties Among Catalases. **Arch Biochem Biophys**, V. 401: 145-154. 2002.

TORRES, L. B. V.; PRIMO, D. M. B.; ANDRADE, M. G. S.; SILVA, S. M.; LOPES, M. F. Quality of plated *Cereus* (*Cereus jamacaru* DC) fruit harvested in different maturity stages. **Acta Horticultura**, v. 811. p. 179-184, 2009.

ZARA, R. F., THOMAZINI, M. H., LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. **Revista de Estudos Ambientais**, v.14, n.2, p. 75-83, 2012.

WANG, L., JIN, P., WANG, J., GONG, H., ZHANG, S., ZHENG, Y. Hot air treatment induces resistance against blue mold decay caused by *Penicillium expansum* in sweet cherry (*Prunus cerasus* L.) fruit. **Scientia Horticulturae**, vol. 189, p 74-80, 2015.

8. OUTRAS ATIVIDADES

- Congressista em II Congresso Nacional de Engenharia de Alimentos - II Simpósio Cearense de Engenharia de Alimentos;
- Apresentação de resumo intitulado “Obtenção de manteiga láctea rica em flavor e propriedades antioxidantes” no 10º Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - EIDTI da UFS;
- Apresentação de resumo intitulado “Aceitação sensorial de sorvete de abacaxi (*ananas comosus*, l.) com microcápsulas de hortelã-verde (*mentha spicata*)” na VI Semana Acadêmica de Engenharia de Alimentos – DTA/UFS;
- Congressista na VI Semana Acadêmica de Engenharia de Alimentos – DTA/UFS;
- Congressista em II Simpósio de Ruminantes da UFS;
- Minicursos do projeto Alimentando o Conhecimento, “Análise de coliformes” e “Produção de sorvetes funcionais”;
- Minicurso “Estratégia de leituras e sistematização de estudos acadêmicos” do 28º EIC/COPES;
- Congressista no evento “Mulheres na Engenharia – Desafios e Conquistas”;

- Capacitação em Empreendedorismo Social pelo Núcleo de Empreendedorismo da UFS;
- Voluntário no projeto de extensão “Nutrindo o Bolso!”;
- Apresentação de trabalhos intitulados “Efeito de interferentes hidrossolúveis na determinação de capacidade antioxidante de compostos fenólicos”, “Aceitação sensorial e caracterização físico-química de sorvete de abacaxi com microcápsulas de hortelã-verde” e Determinação de compostos bioativos, atividade antioxidante e antimicrobiana do extrato da fibra da manga (*Mangifera indica* L. Cv. Tommy Aktins). para o IX Congresso Latino-Americano e XV Congresso Brasileiro de Higienistas de Alimentos.
- Submissão de resumo intitulado “Características nutricionais e antioxidantes do fruto do mandacaru (*cereus jamacaru* DC)” ao 13º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos.